5П

УДК 004.382

С.А. Поливцев, С.Б. Иванова, Е.С. Цыбульник
Институт проблем искусственного интеллекта
МОН Украины и НАН Украины, г. Донецк
Украина, 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118 б

Модель воздушной среды и 3D реализация системы пеленгации

S.A. Polivtsev, S.B. Ivanova, H.S. Tsybulnik
Institute of Artificial Intelligence
MES of Ukraine and MAS of Ukraine, c. Donetsk
Ukraine, 83048, c. Donetsk, Artema st., 118 b

Model of Air Environment and 3D Realization of System of the Direction-Findings

С.О. Полівцев, С.Б. Іванова, О.С. Цибульнік
Інститут проблем штучного інтелекту
МОН України і НАН України, м. Донецьк
Україна, 83048, м. Донецьк, вул. Артема 118 б

Модель повітряного середовища та 3D реалізація системи пеленгації

В статье рассматриваются теоретические и практические вопросы построения системы пеленгации (т.е. определения направления на источник в трех измерениях) слабых звуковых колебаний в воздушной среде. Приводится структура технической реализации системы пеленгации, позволяющая выделить слабый звуковой сигнал (не обязательно голос человека) на фоне помех различного вида, в том числе помех, создающихся движением воздуха. Система ориентирована на применение в подвижных роботах.
Ключевые слова: пеленгация, звуковой сигнал, робот, бинауральный слух.

In the article the theoretical and practical questions of construction of the system of direction-finding (i.e. direction-findings of a source in three dimensions) of weak voice vibrations in an air environment are examined. The structure of technical realization of the system of direction-finding, allowing to distinguish a weak acoustical signal (not only voice of a human being) on the background of the hindrances of different kind is done, including hindrances created by motion of air. The system is oriented to application in mobile robots.
Key words: direction finding, acoustical signal, robot, binaural hearing.

У статті розглядаються теоретичні і практичні питання побудови системи пеленгації (тобто визначення напряму на джерело в трьох вимірах) слабких звукових коливань в повітряному середовищі. Наводиться структура технічної реалізації системи пеленгації, що дозволяє виділити слабкий звуковий сигнал (не обов'язково голос людини) на тлі перешкод різного виду, у тому числі перешкод тих, що створюються рухом повітря. Система орієнтована на застосування в рухливих роботах.
Ключові слова: пеленгація, звуковий сигнал, робот, бінауральний слух.

Введение

Существует множество моделей распространения звукового сигнала в воздушной среде, которые учитывают множество параметров среды. В силу множественности параметров эти модели хороши для теоретических рассуждений, но мало пригодны для

практических расчетов. Например, они не учитывают влияние ветра. При этом следует учитывать, что ветер есть всегда и везде, но разной силы. Следует также учитывать, что ветер заставляет колебаться мембрану микрофона как под действием звукового давления, так и под действием потока воздуха. Обычно силу ветра измеряют другими приборами, например анемометрами, и полученные измерения вводят в модель среды или в конкретные приборы. Предлагается решение, позволяющее не производить измерение силы ветра, но учитывать его влияние на звуковой сигнал.

Модели и эксперименты в воздушной среде

Известная трехмерная модель распространения звуковой волны в однородной воздушной среде, находящейся в состоянии покоя и не имеющей резонаторов и ревербераторов, для одного неподвижного источника, создающего звуковое давление p и скоростей распространения волны u, v и w по координатам x, y, z с плотностью воздуха ρ и эластичность воздуха k, имеет вид:

$$\rho \frac{du}{dt} + \frac{dp}{dx} = 0; \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} + \frac{dp}{dy} = 0; \quad (2)$$

$$\rho \frac{dw}{dt} + \frac{dp}{dz} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{dp}{dt} + k\left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right) = 0 \cdot \quad (4)$$

Явно предполагается, что источник и приемник(-и) имеют вид точки.

На выходе каждого сенсора любой физической природы, воспринимающего звуковые колебания, имеется электрический сигнал, содержащий три параметра – напряжение u, частоту f и фазу φ. Эти параметры независимы между собой, но каждый из них зависит от параметров системы (1) – (4).

Напряжение u или амплитуда размаха сигнала A зависит от чувствительности сенсора a, коэффициента усиления усилителя Ku, установленного за сенсором, и расстояния до источника сигнала l:

$$A = F_1\{a, Ku, l\}. \quad (5)$$

Частота сигнала f зависит исключительно от свойств источника сигнала. Фаза φ зависит от расстояния до источника сигнала l:

$$\varphi = F_2\{f, l\}. \quad (6)$$

Если в окружающей среде имеется несколько источников, то следует рассматривать несколько систем вида (1) – (6). Если некоторые источники подвижны, то в (1) – (6) следует добавить дифференциальные скорости перемещения источников. Таким образом, будут учтены варианты сложения звуков в объеме воздуха. Для демонстрации влияния ветра проведем следующий эксперимент.

Имеется следующая экспериментальная система, состоящая из пары высокочувствительных микрофонов, воспринимающих звуковые колебания в диапазоне частот 300 – 6000 Гц. Обозначим эти микрофоны как L (левый) и R (правый), расположим их на расстоянии 150 мм друг от друга, установим перед L массивный предмет (не закрывающий мембрану), создадим искусственный ветер со скоростью движения около 1,4 м/с (это соответствует скорости движения пешехода, равной 5 км/час) и запишем осциллограмму сигналов на выходе микрофонов. В процессе записи уберем предмет перед L и продолжим запись осциллограммы при искусственном ветре. Схема эксперимента показана на рис. 1.

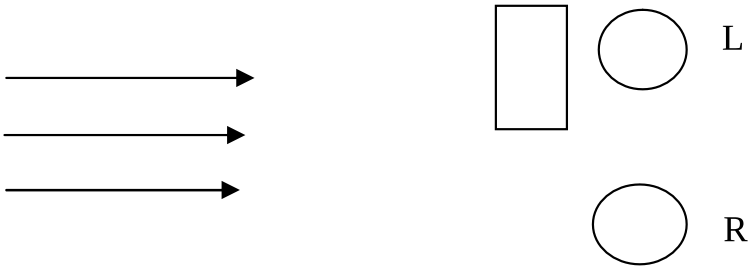


Рисунок 1 – Геометрическая схема эксперимента с ветром

Записанные осциллограммы визуализируем с помощью программы Adobe Audition, левый микрофон соответствует верхней осциллограмме – рис. 2. Существенность фактора ветра становится ощутимой при сравнении с осциллограммами записи голоса с этих же микрофонов, но расстояние до источника голоса равно 4 метрам (рис. 3). Осциллограммы голоса и эксперимента с ветром приведены в одном и том же масштабе по амплитуде. При этом обе записи производились не в изолированном помещении, шумы улицы и помещения также отображены на осциллограммах. В силу этого осциллограммы левого и правого каналов имеют несколько различный вид даже на одинаковых по условиям и времени воздействия участках.

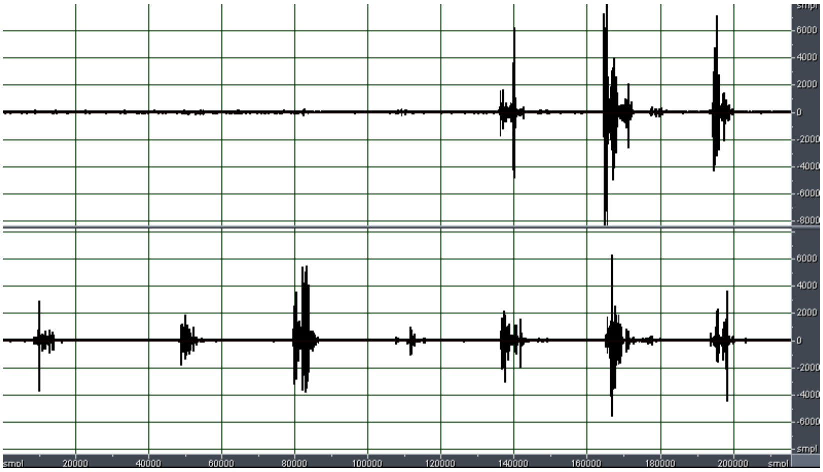


Рисунок 2 – Осциллограммы эксперимента с искусственным ветром

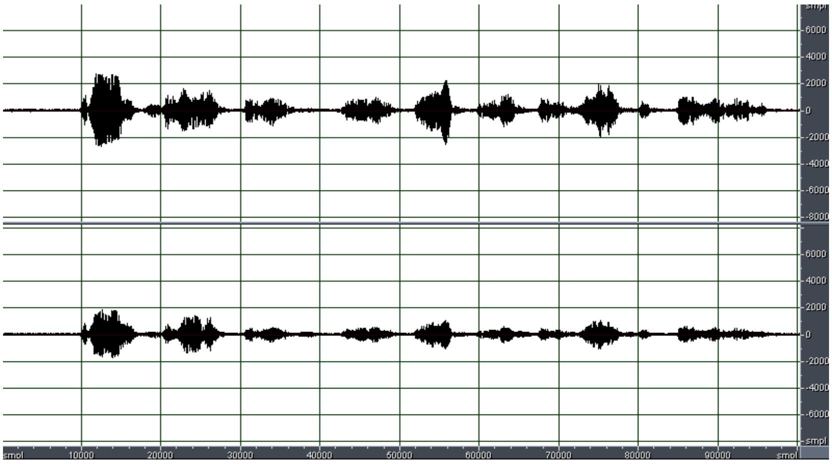


Рисунок 3 – Осциллограммы голоса с расстояния 4 метра

По результатам экспериментов с ветром, в выражение (5) следует добавить фактор ветра, который обозначим символом *wh*. С учетом ветрового фактора амплитуда размаха сигнала на выходе микрофона примет вид:

$$A = F_1\{a, Ku, l, wh\}. \qquad (7)$$

Структура системы пеленгации

Существующие сенсоры определения скорости и направления ветра мало пригодны для установки на роботах. Кроме того, совершенно не существует сенсоров (по крайней мере, они не описаны в доступной литературе), позволяющие отделить действие звукового давления от действия потока воздуха. В силу вышеизложенного, для учета фактора ветра, каждый сенсор должен состоять из двух микрофонов (кластера микрофонов) – один воспринимает и звуковое давление и движение воздуха, второй воспринимает только звуковое давление.

В [1], [2] предлагалась реализация системы бинаурального слуха робота, содержащая 4 микрофона, микроконтроллер для обработки информации с микрофонов и микроконтроллер для вычислений направления на источник (для целей собственно пеленгации источников).

Для учета влияния ветра система должна принять вид, показанный на рис. 4.

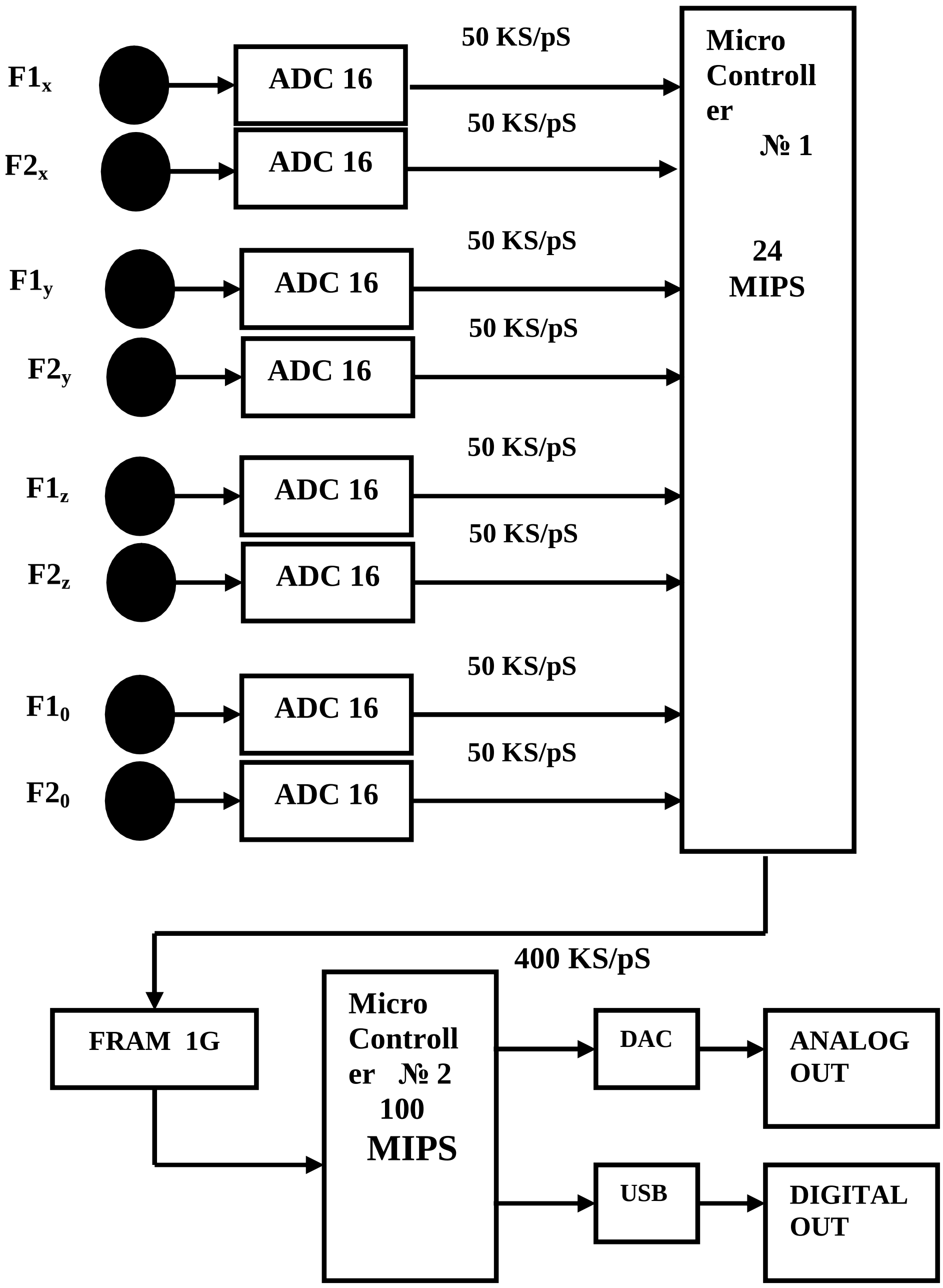


Рисунок 4 – Новая структурная схема системы бинаурального слуха

Практически это означает, что для восприятия звуков с расстояния 0,5 – 5 м и определения направления на их источник в неспешном движении (со скорость пешехода – около 5 км/ч) необходима система с восемью микрофонами. В реальной окружающей среде существует еще один фактор, порождающий звуковое давление, – полет насекомых. К сожалению, еще никому не удалось заставить муху или пчелу летать по заданной траектории, поэтому эксперименты по этому поводу ставить очень трудно, однако практика измерений показала, что пролет мухи от микрофона на расстоянии 3 – 5 см от микрофона по амплитуде сравним с голосом человека с расстояния 3 м. Единственное, что здесь может выручить – малые размеры насекомого, т.е. при расстоянии между микрофонами 150 мм полет насекомого воспринимается в основном одним кластером микрофонов.

В результате реализации предложенной технической системы бинаурального слуха на выходах АЦП будут получены цифровые потоки сигналов, каждый из которых содержит информацию обо всех звуковых сигналах в окружающем объеме воздуха. Разница между потоками состоит в том, что они имеют разное время прихода к микрофонам, зависящее от взаимного положения источника и микрофонов. Соответственно имеется и разница во времени появления сигналов на выходах АЦП. Проще говоря, сигналы в потоках данных от АЦП похожи, но имеют разное время появления. Для того чтобы определить разницу во времени появления для любой пары потоков, необходимо найти «похожие» сигналы, определить степень «похожести» и по определенным параметрам определить относительное время (фазу) запаздывании или опережения сигналов друг относительно друга. Выполнение этой работы для одной пары микрофонов определит несколько областей локализации источника сигнала. Наложение полученных областей для всех 4 независимых пар микрофонов даст один объем или одну область локализации источника.

Например, на рис. 5 показаны осциллограммы сигналов от одного источника на выходах двух кластеров микрофонов – М0 и М1, расположенных на расстоянии 150 мм друг от друга.

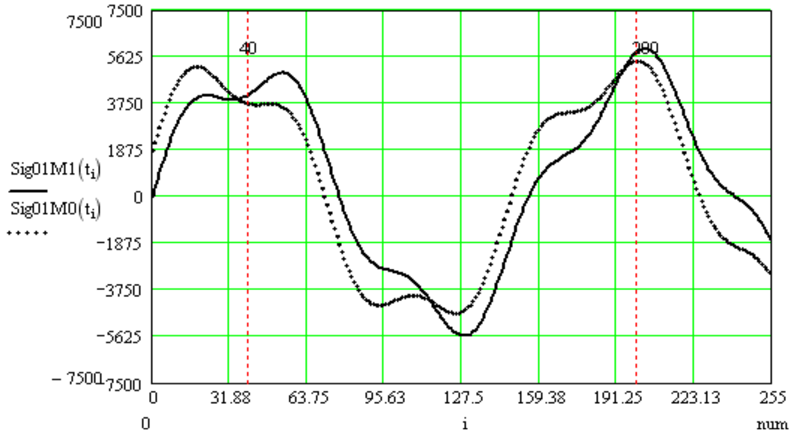


Рисунок 5 – Осциллограммы сигналов от одного источника

Сигнал на выходе М1 показан сплошной линией, а сигнал на выходе М0 показан точками. Визуально сигналы «похожи», но на борту робота некому оценивать эту схожесть сигналов, ее надо выразить в числовом виде с тем, чтобы степень «похожести» можно было оценить в числовом виде и программно реализовать.

Выводы

Предложенная модель воздушной среды, кластеризация микрофонов, применение высокопроизводительных микроконтроллеров позволяют построить техническую систе-

му, решающую вопросы пеленгации в звуковом диапазоне в объеме. Система должна иметь пространственно разнесенные сенсоры, объединенные в кластеры, 16-разрядные АЦП с частотой дискретизации не менее 50 кГц с тем, чтобы как можно подробнее учитывать большинство факторов, порождающих сигналы в этом диапазоне. Высокое разрешение по амплитуде и частоте позволит последующей программе анализа получить более точные данные для анализа сигналов.

Литература

1. Поливцев С.А. Система бинаурального слуха робота. / С.А. Поливцев, Е.С. Цыбульник // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 317-321.
2. .Патент Украины № 87510. Синфазная система шумоподавления / Поливцев С.А., Шевченко А.И.; выдан 4 июня 2009 г.

Literatura

1. Polivcev S.A. Iskusstvennyj intellekt. № 4. 2009. S. 317-321
2. Polivcev S.A., Shevchenko A.I. Patent Ukrainy № 87510. Sinfaznaja sistema shumopodavlenija; vydan 4 ijunja 2009 г.

S.A. Polivtsev, S.B. Ivanova, H.S. Tsybulnik

Model of Air Environment and 3D Realization of System Direction Findings

In the article, the theoretical and practical questions of construction of the system of direction finding (i.e. direction-findings of a source in three dimensions) of weak voice vibrations in an air environment are examined. The structure of technical realization of the system of direction-finding, allowing to distinguish a weak acoustical signal (not only voice of a human being) on the background of the hindrances of different kind is done, including hindrances created by motion of air. The system is oriented to application in mobile robots.

There is a great number of models of distribution of acoustical signal in air environment, which take into account the great number of parameters of environment. By virtue of multiplicity of parameters, these models are good for the theoretical reasoning but they are of little avail for practical calculations. For example, they do not take into account the influence of wind. It is necessary to take it into account, as the wind is always and everywhere but its force is different. It is also necessary to take into account that the wind compels to hesitate membrane of a microphone as well under the action of voice pressure as under the action of blast. The force of the wind is usually measured by other devices, such as anemometers, and the testing measurements are carried in the model of environment or in concrete devices. Solution, which allows not take measurement of wind force but to take into account its influence on an acoustical signal, is offered.

The offered model of air environment, clusterization of microphones, application of high-performance microcontrollers allows to build the technical system, to solve the problems of direction finding in a voice range of volume. The system must have spatially set about the touch-controls incorporated in clusters, 16 bit ADC with frequency of discretization no less than 50 kHz to take into account most factors for originative signals in this range as detailed as possible. High-resolution on amplitude and frequency will allow to the subsequent program of analysis to get more exact data for the analysis of signals.

Статья поступила в редакцию 02.12.2011.